

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO NUEVO ROSARITO (0235), ESTADO DE
BAJA CALIFORNIA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	7
3.1 Provincia fisiográfica	7
3.2 Hidrografía.....	9
3.3 Geomorfología	9
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía	10
4.2 Geología estructural	13
4.3 Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos	14
5.3 Piezometría.....	15
5.4 Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	21
5.4.3 Evolución del nivel estático	25
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	26
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	27
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	27
7.1 Entradas.....	28
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	28
7.1.2 Recarga inducida (Ri)	29
7.1.3 Entrada por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	29
7.2 Salidas	32
7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....	32
7.2.2 Extracción por bombeo (B)	35
7.2.3 Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	35
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)	37
8. DISPONIBILIDAD	39
8.1 Recarga total media anual (R).....	39
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	39
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	40
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	40
9. BIBLIOGRAFÍA	42

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Nuevo Rosarito, definido con la clave 0235 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Baja California, tiene una superficie de 1618 km², geográficamente se encuentra entre los 28° 25' y 28° 53' de latitud norte y entre los 113° 34' y 114° 10' de longitud oeste. Colinda al norte con los acuíferos

La Bachata-Santa Rosalita y Agua Amarga, al este con Bahía de los Ángeles y La Bocana-Llanos de San Pedro, al sur con el acuífero Villa de Jesús María, todos ellos del estado de Baja California, y al oeste con el Océano Pacífico. Geopolíticamente queda comprendido dentro del municipio de Ensenada.

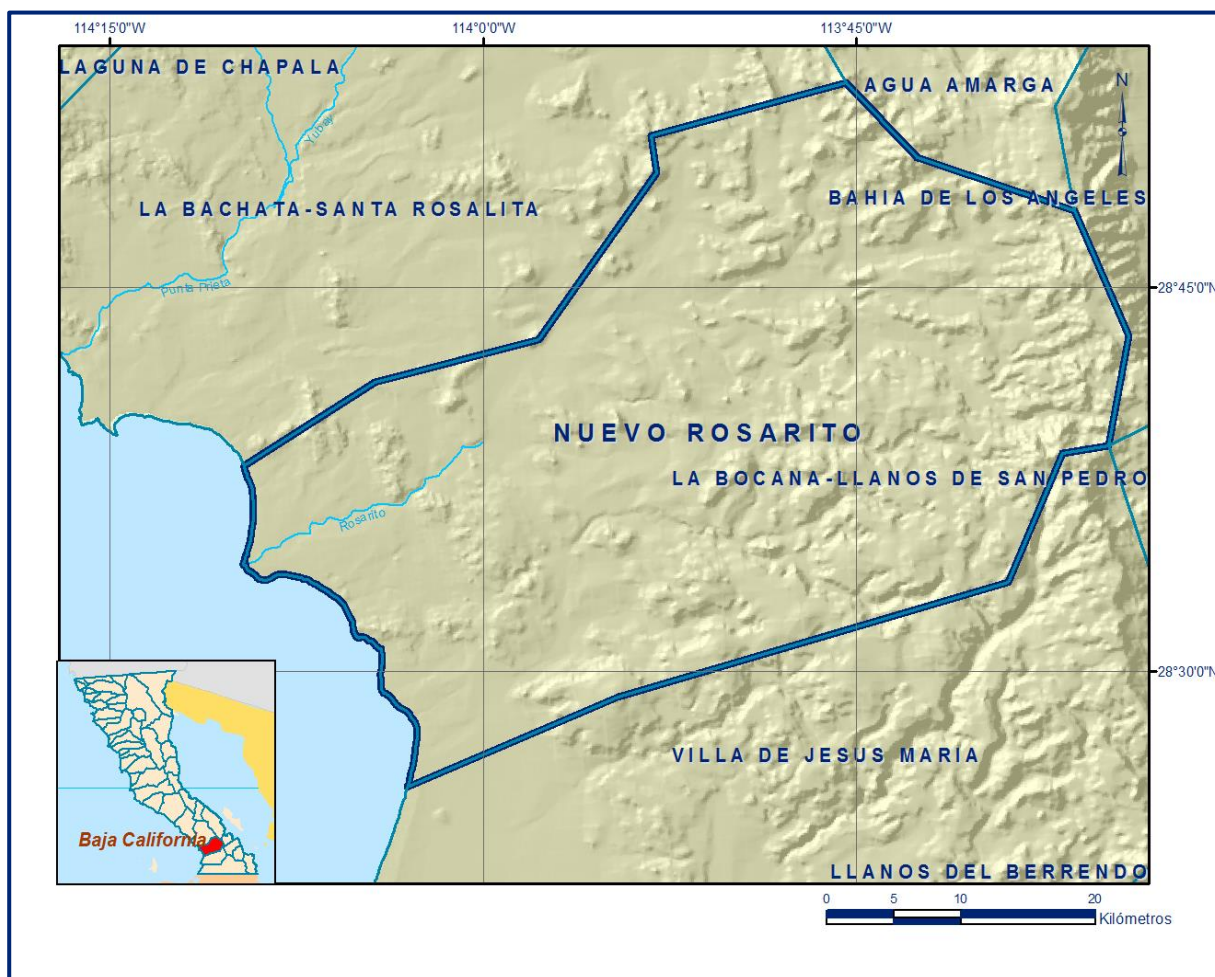


Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan el acuífero

ACUÍFERO 0235 NUEVO ROSARITO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	113	36	13.5	28	47	58.5	
2	113	34	2.5	28	43	4.3	
3	113	34	51.3	28	38	47.9	
4	113	36	44.2	28	38	30.6	
5	113	38	54.2	28	33	29.2	
6	113	54	36.0	28	29	0.7	
7	114	3	2.6	28	25	30.1	DEL 7 AL 8 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
8	114	9	37.1	28	38	16	
9	114	4	21.6	28	41	16.7	
10	113	57	45.5	28	42	56.7	
11	113	53	1.1	28	49	27.1	
12	113	53	14.6	28	50	53.9	
13	113	45	23.8	28	52	58.8	
14	113	42	34.0	28	50	2.7	
1	113	36	13.5	28	47	58.5	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca I “Península de Baja California”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III *“Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en el estado de Baja California”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de mayo de 1965. De acuerdo con él, sólo se permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. Dentro de su territorio no existe distrito o unidad de riego alguna ni se ha constituido a la fecha en Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero se localiza dentro de la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre “Valle de los Cirios”, con fecha de Decreto 2 de junio de 1980.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado algunos estudios geohidrológicos. A continuación, se mencionan los resultados y conclusiones más relevantes.

En 1974, la Dirección General de Obras de Riego para el Desarrollo Rural, Noroeste y Península de Baja California. Realizó la perforación del pozo Tecolote 1 (S4) que dio inicio el 12 de agosto y concluyó el 23 del mismo mes, se empleó para esta actividad

la perforadora DAVEY ELI 4342-4, la profundidad del aprovechamiento total es de 42.6 m, nivel estático de 7.62 m, nivel dinámico de 17.06 m y un gasto de 9.5 lps.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA EL ACUÍFERO DEL EJIDO NUEVO ROSARITO, realizado en 1975 por la Dirección de Geohidrología, Zonas Áridas, mediante el Departamento de Geohidrología, en donde se establece la zona de explotación como partes de la cuenca rellenos de depósitos aluviales, siendo estos depósitos los de mayor permeabilidad, por lo que probablemente constituyen la principal zona de recarga y almacenamiento.

En este mismo año **(1975) La Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección de Pequeña Irrigación, realizó una PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO TECOLOTE NO. 2 UBICADO EN EL EJIDO NUEVO ROSARITO**, donde la profundidad del pozo es de 57 m, la profundidad al nivel estático de 6.4 m y nivel dinámico de 15.24 m; en el primer aforo a 800 rph se obtuvo un gasto promedio de 5.52 lps y a 900 rph un gasto de 6.6 lps. Este pozo se abate a 1000 rph.

Para **1976 La Gerencia General de la Secretaría de Recursos Hidráulicos en el Estado de Baja California llevó a cabo un ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL EJIDO NUEVO ROSARITO** con la finalidad de extraer agua subterránea mediante la perforación de pozos profundos en los terrenos del Ejido para uso agrícola y de abrevadero. Las principales rocas que afloran en la región son de tipo sedimentario, representadas predominantemente por depósitos aluviales del Cuaternario, cuyo espesor sea probablemente del orden de 100 m, así como sedimentos de origen fluvial (conglomerados) del Paleógeno, cuyo espesor se desconoce. La precipitación media anual en el área es del orden de 100 mm. Como consecuencia de ello los escurrimientos superficiales son de baja magnitud lo que aunado a las altas temperaturas que provocan fuertes evaporaciones hace que las aportaciones de agua al acuífero sean muy bajas.

Para **1977, La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Representación General en el Estado de B. C. Jefatura de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural, llevó a cabo la PERFORACIÓN DE LOS POZOS LA ZACATECARA Y LA ANGOSTURA (EL TECOLOTE)**, ambos ubicados en el Ejido Nuevo Rosarito; en el primer caso, con una profundidad de 50 m, diámetro de ademe de 8", se obtuvo un gasto de 6.22 lps a 1100 rpm, nivel estático de 8.83 m y nivel dinámico de

20 m, para el mismo aprovechamiento, en 1980 se terminó de construir la base adecuada para el equipo de bombeo.

En el segundo caso, se obtuvo un gasto de 0.6 lps, dos años después se construyeron las bases, tanque de almacenamiento y abrevadero correspondiente, adquiriendo e instalando el equipo de bombeo. Mediante la perforación del pozo La Zacatecara No. 1; se obtuvo la clasificación litológica del aprovechamiento.

En este mismo año **(1977) La Dirección Regional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural inició el 21 de noviembre de 1977 LA PERFORACIÓN DEL POZO NUEVO ROSARITO NO. 1**, empleando la perforadora FAILING 4342-33 y concluyó el 3 de diciembre del mismo año, el diámetro del ademe de 10", la profundidad total del aprovechamiento fue de 48 m, nivel estático de 2.38 m, nivel dinámico de 6.7 m y un gasto de 16.6 lps.

Para **1980 La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos realizó un ESTUDIO GEOQUÍMICO DE 47 APROVECHAMIENTOS DE LA ZONA DEL EJIDO NUEVO ROSARITO**, 39 norias, 7 manantiales y 1 pozo, en base al análisis de las muestras se determinó un alto contenido de sólidos totales cuyas clasificaciones son de C_3S_1 , C_3S_2 , C_2S_1 , C_2S_2 , C_4S_2 , C_4S_3 , C_4S_4 , se presentaron en algunos de estos aprovechamientos altos contenidos de cloruros, esto puede deberse a la contaminación de minerales que existen en la zona.

En este mismo año **(1980), La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Dirección de Geohidrología y de Zonas áridas llevó a cabo un CENSO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES EN LA ZONA NUEVO ROSARITO**, posteriormente la Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Grande Irrigación, Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas hizo la perforación, aforo y equipamiento de 55 aprovechamientos, 39 norias, 8 pozos y 8 manantiales.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. ORGANISMO DE CUENCA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA (2008). ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN 20 ACUÍFEROS DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA. El objetivo principal de este estudio fue plantear el balance preliminar de aguas subterráneas para determinar la disponibilidad, mediante la realización

actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría y nivelación de brocales.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El acuífero se encuentra localizado dentro de la provincia fisiográfica Sierras de Baja California, Subprovincia Sierra Volcánica (Según Miguel Álvarez Jr.). Presenta un relieve abrupto conformado por Sierras que corren en sentido norte-sur y noroeste-sureste con elevaciones que llegan a 1,600 msnm y sobresalen hasta 1,000 m de las superficies de los valles. Las Sierras que corren paralelamente a la costa del Golfo de California, se meten hacia el mar sin formar ninguna llanura costera.

Dentro de las principales elevaciones se encuentran la Sierra San Miguel, La Libertad, San Andrés, Sierra San Borja. Las depresiones se encuentran ocupadas por los Valles Las Flores al Este, Agua Amarga al Noreste y por pequeñas depresiones localizadas entre las Serranías que constituyen el acuífero dentro de las que se encuentra El poblado Rosarito, El Sacrificio, Chulavista, dentro del área también se logran observar la mesa Compostela y Tinajitas estas de composición básica (Derrames de lava basáltica). En la porción Oriental se localiza la Sierra La Libertad la cual corta el límite del acuífero de manera perpendicular, constituida por rocas ácidas muy fracturadas y falladas, coronadas por rocas post-batolíticas representadas tanto por tobas y brechas riolíticas como por rocas basálticas.

3.2 Clima

De acuerdo al sistema de clasificación climatológica de Köppen, modificado por Enriqueta García (1964) para las condiciones de la República Mexicana se tiene que el área presenta a nivel regional climas de tiempo muy secos BW.

BW_{hs}: Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18 y 22° C, temperatura del mes más frío menor de 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22° C, lluvias de invierno y precipitación invernal mayor al 36% del total anual.

BWk(x´): Muy árido, templado, temperatura media anual entre 12 y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22° C. Lluvias repartidas todo el año y precipitación invernal mayor al 18% del total anual.

BWks: Muy árido, temperatura media anual entre 12 y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22° C, lluvias de invierno y porcentaje de lluvia invernal mayor del 36% del total anual.

Para el análisis de las áreas de balance, se utilizó información de tres estaciones climatológicas que se encuentran dentro del área; 31-Nuevo Rosarito, 34-San Borja y 42-San Regis.

En la estación climatológica 031-Nuevo Rosarito se analizó un periodo de 1959-2006, con una precipitación media anual de 121 mm, los años en que se registró la mayor y menor precipitación total anual fueron 1983 y 1975 con un valor de 352.5 mm y 26.4 mm respectivamente. Para las precipitaciones medias mensuales en el periodo considerado, los meses en que se registró la mayor y menor precipitación son diciembre y junio con 28.4 mm y 0.3 mm respectivamente. Para el mismo periodo presenta una temperatura media anual de 18.1° C; siendo el mes de agosto es el más caluroso, con una temperatura promedio de 23.2° C y el más frío es enero con 14.6° C, la evaporación anual promedio es de 1,678.9 mm.

La estación climatológica 034-San Borja se analizó un periodo de 1956-2006, con una precipitación media anual de 104 mm, los años en que se registró la mayor y menor precipitación total anual fueron 1983 y 1963 con un valor de 347.0 mm y 10.0 mm respectivamente. Para las precipitaciones medias mensuales en el periodo considerado, los meses en que se registró la mayor y menor precipitación son diciembre y junio con 25.4 mm y 0.1 mm respectivamente. Para el periodo de 1956-2006 indica una temperatura media anual de 19.9° C; el mes de agosto es el más caluroso, con una temperatura promedio de 26.5° C y el más frío es enero con 15.1° C, la evaporación anual promedio es de 2,156.4 mm.

La estación climatológica 042-San Regis se analizó un periodo de 1955-2004, con una precipitación media anual de 143 mm, los años en que se registró la mayor y menor precipitación total anual fueron 1992 y 1963 con un valor de 372.1 mm y 44.0 mm respectivamente.

Para las precipitaciones medias mensuales en el periodo considerado, los meses en que se registró la mayor y menor precipitación son diciembre y junio con 32.2 mm y 0.2 mm respectivamente. Para el periodo de 1955-2004 indica una temperatura media anual de 19.2° C; el mes de agosto es el más caluroso, con una temperatura promedio de 25.8° C y el más frío es enero. Para la estación climatológica de 042-San Regis, con 14.1° C. La precipitación media anual dentro de los límites del acuífero es de 122.7 mm, mientras que la temperatura media anual es de 19.1° C.

3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 2, “Baja California Centro-Oeste”, dentro de la vertiente del Océano Pacífico, que es donde se encuentran los arroyos que drenan los valles que descargan pequeños escurrimientos al Océano Pacífico. Las corrientes principales son: arroyo Santa Catarina, que es la corriente más al Norte de esta región, recorre 50 km de Norte a Sur y desemboca en el Océano Pacífico; el arroyo Rosarito que recorre 65 km en sentido Este-Oeste y desemboca al Sur de la Bahía de Santa Rosalita, se unen a estos arroyos de menor importancia que terminan antes de llegar al litoral entre estos se encuentran el Arroyo Compostela, Arroyo Grande, Arroyo la Laguna, El Ranchito, Catarina, el Saltito entre otros.

3.4 Geomorfología

El acuífero Nuevo Rosarito se encuentra limitado al oriente por la Sierra La Libertad y al Noroeste por la sierra de San Miguel, con un desarrollo desde línea de costa hacia el sur con una longitud mayor a los 26 km y una amplitud de 5 km. Toda la superficie está cubierta predominantemente por rocas ígneas de composición dacítica en donde los depósitos aluviales, fluviales solo se identifican de forma local entre los cañones y lechos de los pequeños arroyos que se forman.

4. GEOLOGÍA

Las principales rocas que afloran en la región son de tipo volcánico de composición dacítica y están localizados cerca de las faldas de la Sierra La Libertad, a los cuales se asocian los aglomerados y flujos de ceniza de los Cerros Archelon, Almacén y Triates, cuya distribución es restringida. La actividad basáltica andesítica tiene un patrón de distribución similar a la tendencia estructural regional de orientación NNW.

El vulcanismo de composición máfica de 12 Ma (Delgado-Argote et al 2000) se manifiesta en la Sierra la Libertad como una serie de edificios volcánicos que tienen aparente continuidad con la Sierra de Las Flores, donde tanto los montículos basálticos como los diques alimentadores de lavas que coronan la Sierra, siguen la misma tendencia estructural. Los depósitos sedimentarios se encuentran distribuidos de forma local como resultado de la erosión e intemperismo que afecta a las rocas preexistentes (figura 2).

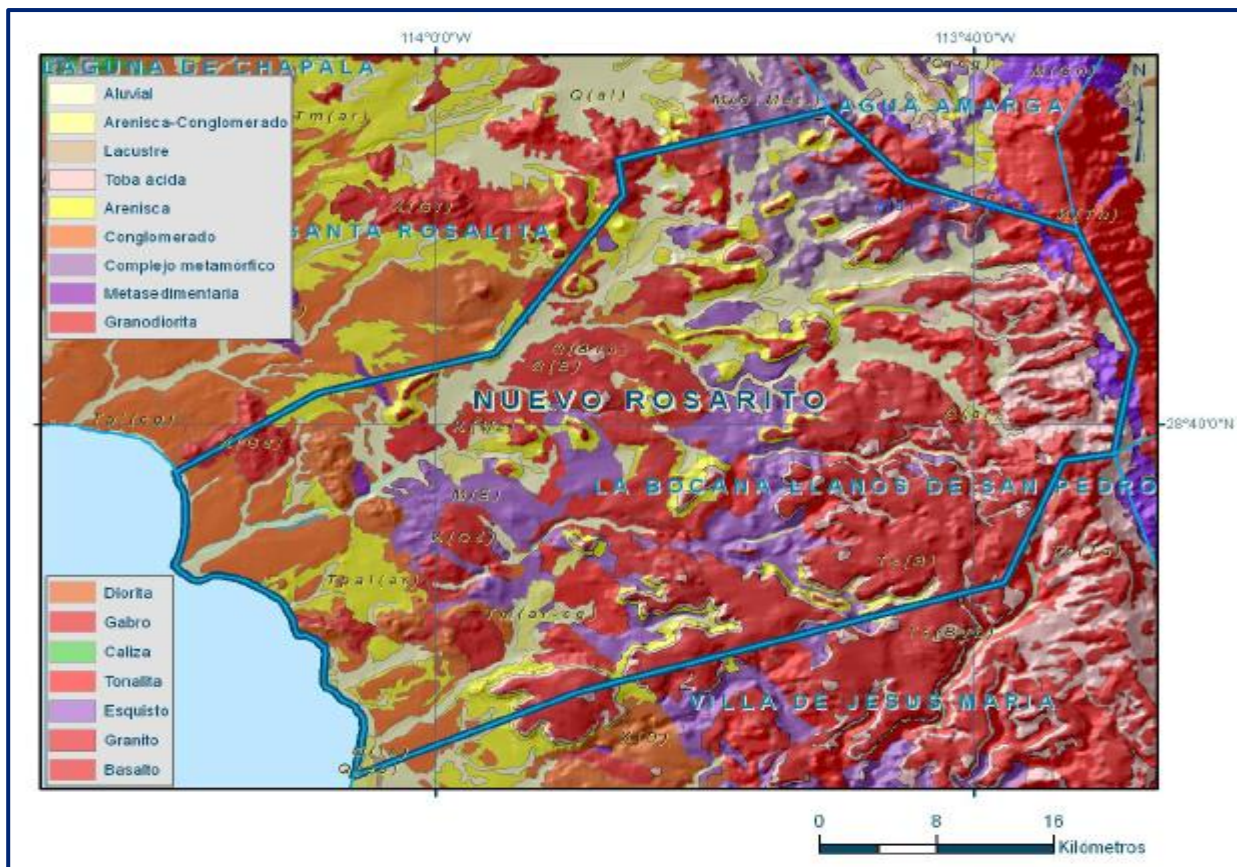


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Complejo Metamórfico Paleozoico. Está constituido por mármoles, esquistos y gneis generados por dinamometamorfismo de alto grado en rocas sedimentarias, que provoca una foliación con rumbo de N70°W con 30 o 40° de inclinación hacia el NE. Esta unidad representa el basamento regional de la península, con presencia de fósiles en metareniscas y en calizas levemente metamorfoseadas, que sitúan a esta unidad dentro del Mississippico-Pensilvánico. Morfológicamente forma lomeríos de pendiente suave, en ocasiones interrumpidos por pequeños escarpes.

Formación San Hipólito (Tr – Jr): La constituyen una serie de rocas carbonatadas, clásticas y volcánicas que fueron sometidas a un proceso de dinamometamorfismo así como a un proceso de metamorfismo de contacto, dando como resultado filitas, esquistos, skarns y hornfels, la orientación principal de su foliación es Noroeste-Sureste.

Esta unidad sedimentaria se atribuye a una secuencia de arco insular. Presenta un espesor de 200 m aproximadamente. Morfológicamente forma cerros de topografía abrupta, a diferencia de la unidad paleozoica y junto con esta forma el cinturón metamórfico prebatolítico, que tiene sus principales afloramientos en las sierras de Juárez y San Pedro Mártir.

Formación Alisitos (Krm): Está constituida por una serie de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias; las primeras de composición andesítica mientras que las rocas sedimentarias están constituidas por la denudación de las rocas volcánicas y volcanoclásticas están afectadas por un proceso de dinamometamorfismo el cual va disminuyendo de oriente a poniente. Se encuentra coronando a las rocas de edad Triásico-Jurásico en forma discordante; con un espesor máximo de 5000 m.

Formación Tortuga (TmAr-Lm): De edad Mioceno, constituida por lutitas y areniscas, normalmente está sobreyaciendo en discordancia a las rocas cretácicas e infrayace discordantemente a las rocas del Plioceno. Esta formación se correlaciona con la secuencia sedimentaria denominada informalmente Valle de Diatomitas (Moreno-Carreño, 1994), compuesta por areniscas y diatomitas. Depositada en discordancia sobre los depósitos miocénicos se presenta la Formación Almeja que está cubierta parcialmente por derrames basálticos y escasas areniscas y limolitas.

Formación Comondú (Ms-Pli). Está constituida por rocas volcanoclásticas con una edad del Oligoceno Superior al Mioceno Medio, el depósito de estas rocas está asociado al arco volcánico del Oligoceno-Mioceno. Está constituida por facies de travertinos masivos, travertinos laminares, travertinos esponjosos, tufas y estromatolitos dómicos. Las facies de travertinos representan un ambiente fluvial, mientras que las tufas se depositaron en un ambiente lagunar costero.

Tanto las facies fluviales y lagunares fueron cubiertas por facies de estromatolitos de ambiente marino intermareal.

Batolito Cretácico de Baja California (Kr): Grupo de cuerpos intrusivos de composición granítico-tonalítica-granodiorítica, que localmente están constituidos por plutones de diorita y gabro. Estos, se encuentran afectando a las formaciones San Hipólito y Alisitos produciendo en estos halos de metamorfismo.

Esta unidad conforma al cinturón batolítico que ha dividido a las rocas del Cretácico y Jurásico como rocas post y pre batolíticas respectivamente.

Formación Rosario (Kr): Formada por paquetes de lutitas, areniscas y conglomerados con presencia de fósiles de origen continental y marino.

Esta formación se presenta poco consolidada y así como el tectonismo poco marcado, se le encuentra descansando en discordancia angular a la formación Alisitos, formando el tercer cinturón (postbatolítico), y cuyo límite oriental es la denominada línea “Santillana Barrera”, que representa una línea de costa fluctuante que marca el límite de dos eventos tectónicos. Tiene un espesor aproximado de más de 750 m situado en el Maestrichtiano. Sus principales afloramientos se localizan sobre la costa del Pacífico.

Formación La Misión (Tr): Esta unidad está constituida por areniscas de grano medio, cementadas con calcita, las areniscas son de origen eólico y fluvial, en algunos sitios presentan una estratificación cruzada. Sobreyace en forma concordante a la Formación Sepultura así como en discordancia angular a las rocas paleozoicas y mesozoicas del oriente de la península, con un espesor de 150 m y una edad Mioceno Medio; la morfología que presenta se encuentra sometida por los cuerpos volcánicos que la subyacen. Se considera que estos sedimentos, son el resultado de las primeras transgresiones marinas producidas por la apertura del Golfo de California.

Unidad Volcánica: Se encuentra representada por rocas piroclásticas de composición ácida, derrames andesíticos y dacíticos, casi todos cubiertos por basaltos plio-cuaternarios. Por su posición dentro de la columna estratigráfica se le ha asignado una edad Mioceno-Plioceno. Su expresión morfológica es de mesetas cortadas que oscilan hacia el oriente, en algunas partes estas mesetas alcanzan grandes alturas.

Depósitos Cuaternarios (Qr): Están principalmente constituidos por sedimentos continentales del tipo aluvial y marino de tipo costero, incluso depósitos deltaicos y de llanura de inundación. Sus espesores son muy variados y se les encuentra relleno de valles y zonas bajas en toda la península, aunque sus mayores extensiones se localizan en el noreste de la misma.

4.2 Geología estructural

La geología estructural dentro del acuífero se comporta en forma de bloques escalonados con sensibles basculamientos hacia los extremos oriente, sur y poniente provocados por fallamiento y localmente por la presencia de intrusivos o cuellos volcánicos localizados al poniente, los cuales se presentan alineados y en intersección con fallas regionales.

Se presentan principalmente dos sistemas de fallas el más antiguo con un rumbo N15°-60°E, el cual es desplazado por un sistema de fallas con rumbo N5°-60°W, éste es el más abundante y presenta controles tectónicos asociados a fallas regionales. Las unidades que se encuentran dentro del acuífero se encuentran dislocadas por fallas normales, formando algunos valles tectónicos, la mayoría de estas fallas son transcurrentes, relacionadas como el resto de la península con la apertura del Golfo de California.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo a la geología del área, se definen tres unidades hidrogeológicas, tomando en cuenta las características de permeabilidad y composición de cada una de ellas.

Unidad Impermeable: Funcionan como basamento y son rocas de tipo metamórfico, representadas principalmente por esquistos o apófisis de gabbro.

Unidad Semipermeable: Se encuentra constituida por conglomerados del Paleógeno-Neógeno.

Unidad Permeable: Está constituida por depósitos aluviales del Cuaternario, constituidos por cantos rodados, gravas, arenas y arcillas.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Desde el punto de vista hidrogeológico, las unidades con mayor potencial son los depósitos granulares que para el acuífero se encuentran distribuidos de forma local, la potencialidad se debe a la porosidad que muestran, mientras que las rocas volcánicas gracias al fracturamiento y fallamiento; y el resto de las unidades constituyen límites impermeables tanto en sentido vertical como horizontal.

Permitiendo la recarga a través de la infiltración de las lluvias escasas y del agua que llega a circular por los arroyos alternos a la zona. Los materiales granulares por su origen, presentan en general una fuerte heterogeneidad lateral y vertical; esta heterogeneidad se ve incrementada cuando están en contacto con materiales ígneos.

Todo lo anterior da como resultado una serie de horizontes de permeabilidad variable, con diferentes espesores, y continuidad lateral, que cuando están saturados de agua dan lugar a acuíferos, de tipo libre como es el caso del acuífero Nuevo Rosarito.

5.2 Parámetros hidráulicos

Debido a las condiciones de uso, equipamiento y disponibilidad de los aprovechamientos y de los usuarios, sólo se realizaron cuatro pruebas de bombeo en el Ejido Nuevo Rosarito (1975 SARH) determinado los siguientes parámetros físicos e hidráulicos:

Tabla 2. Parámetros Hidráulicos

Tecolote (S4)	VALORES	Tecolote No. 2	VALORES	Zacatecana	VALORES	Nuevo Rosarito 1	VALORES
Material	Arenas de grano Fino y arcilla	Material	Arenas de grano medio a grueso	Material	Arenas de grano medio	Material	Arenas de grano fino a medio
Ne(m)	7.62	Ne(m)	6.4	Ne(m)	8.83	Ne(m)	2.38
Nd(m)	17.06	Nd(m)	15.24	Nd(m)	20.00	Nd(m)	6.7
Q(lps)	9.5	Q(lps)	5.52	Q(lps)	6.22	Q(lps)	16.6
B(m)	42.6	B(m)	57	B(m)	50	B(m)	48

POZOS	K(m/s)	T(cm ² /s)
Tecolote (S4)	2.36 X 10 ⁻⁵	10.1 X 10 ⁻⁴
Tecolote No. 2	1.5 X 10 ⁻⁵	6.24 X 10 ⁻⁴
La Zacatecana 1	1.11 X 10 ⁻⁵	5.57 X 10 ⁻⁴
Nuevo Rosarito	8.01 X 10 ⁻⁵	30.84 X 10 ⁻⁴

Donde: **T**=**K*****b**, **T**: Transmisividad, m²/s, **K**: Coeficiente de permeabilidad, m/s, **b**: Espesor del pozo (m), **Q**: Caudal, lps, **Nd**: Nivel dinámico (m), **Ne**: Nivel estático (m).

5.3 Piezometría

Para el acuífero se tienen datos piezométricos para los años 1980 y 2008. En la piezometría de 1980 se tienen registrados 44 aprovechamientos; 28 norias, 6 manantiales y 5 pozos, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo del acuífero en las distintas áreas de aprovechamiento.

Durante el recorrido realizado en 2008 solo se lograron medir 11 aprovechamientos, estos ubicados en la parte cercana a la costa del acuífero, ya que los demás aprovechamientos se encuentran totalmente secos por lo que no se pudo medir el nivel estático del agua. Dentro del área del acuífero se localizan cuatro zonas de extracción, las cuales se analizan de forma separada y para diferentes años (figura 3).

1.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Para el análisis de las configuraciones de los niveles estáticos del agua subterránea, la dirección del flujo subterráneo, zonas de recarga y descarga del acuífero, se establecieron cuatro áreas para poder calcular el balance de aguas subterráneas; la primera área de explotación (AE1) de 8.50 km², área de explotación 2 (AE2) de 22.63 km², área de explotación 3 (AE3) de 13.58 km² y el área de explotación 4 (AE4) de 25.86 km² (figura 3). En las que se observa el siguiente comportamiento.

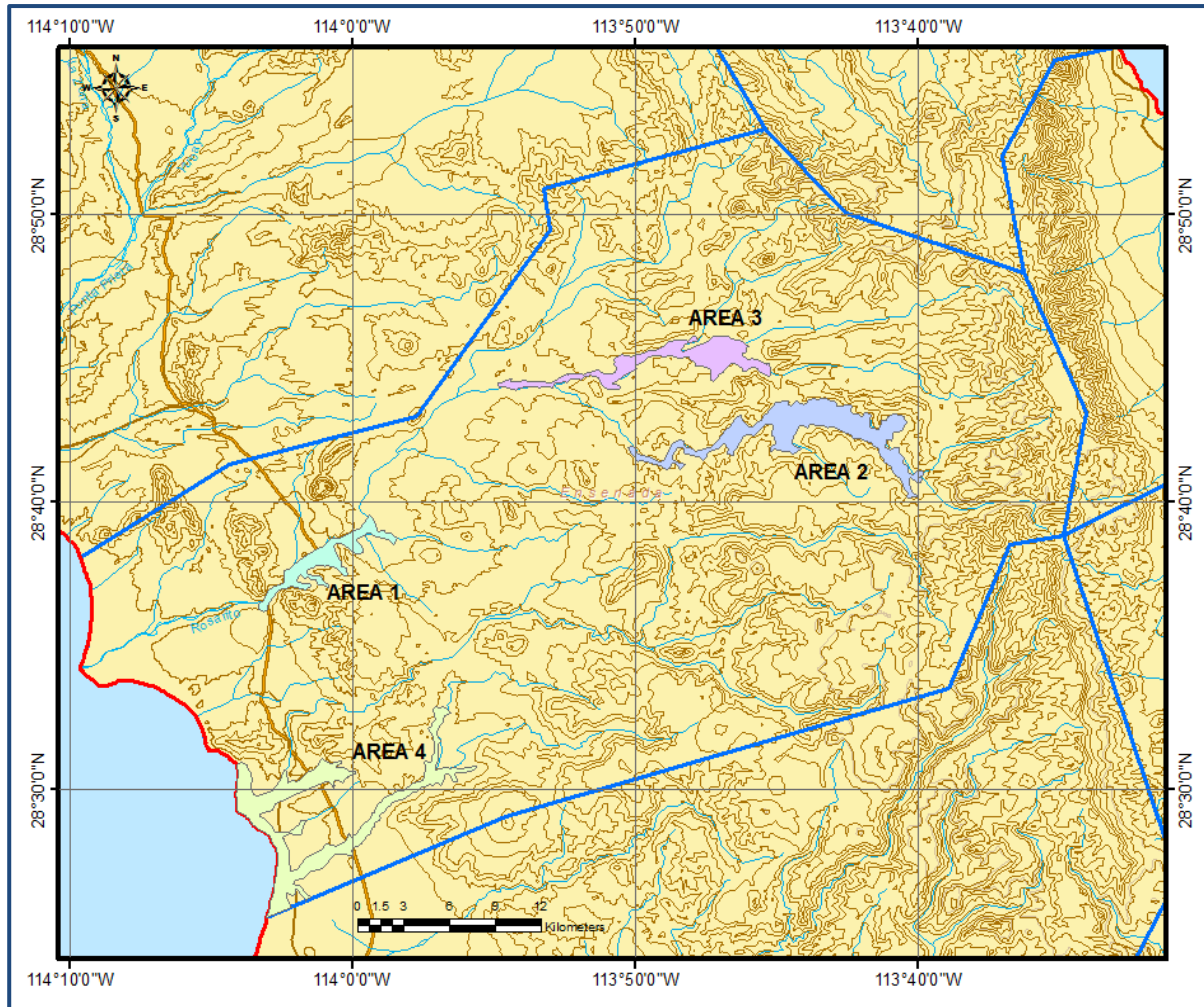


Figura 3. Áreas de extracción de agua subterránea

Área de Explotación 1 (AE1). Las profundidades para 1980 en esta área van de 0 a 9.44 m, las mayores profundidades se presentan en el extremo noreste del área, se puede observar que el comportamiento del flujo subterráneo va reduciendo de forma gradual hacia el suroeste en el área de mayor concentración de aprovechamientos se observa una pequeña flexión, porque existe una mayor extracción, esto ocurre a la altura del poblado Rosarito sin influir demasiado en la dirección del flujo subterráneo ya que posteriormente se observa continua su dirección reduciendo en forma gradual (figura 4).

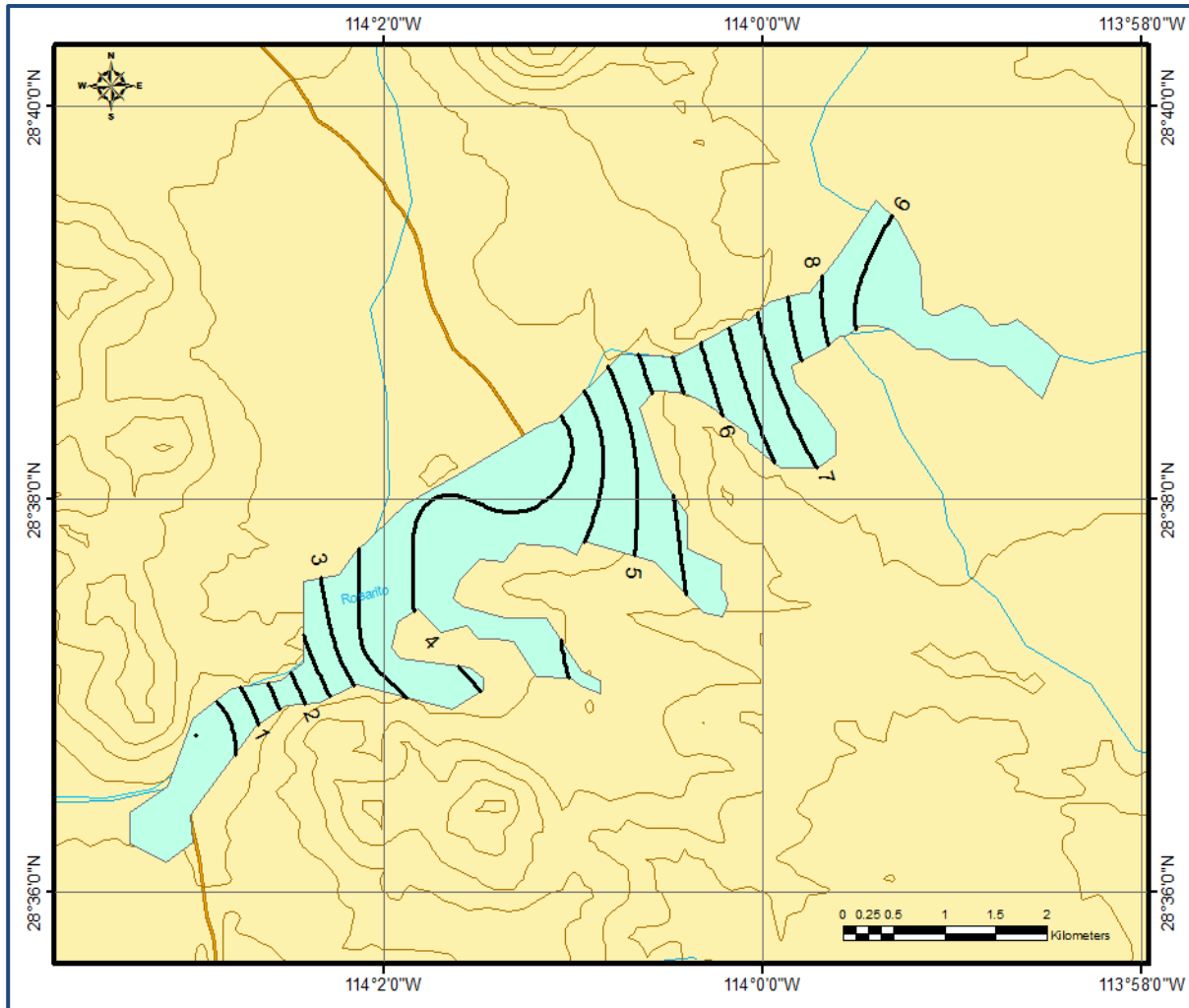


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (1980). Área de explotación AE1

Para 2008 las profundidades van de 0 a 9 m, con lo que se considera que para este periodo ocurrió una recuperación la cual se vio reflejada en la zona donde existía mayor concentración de aprovechamientos en 1980, siguiendo el mismo patrón de flujo (figura 5).

Área de Explotación 2 (AE2). Para esta área de aprovechamiento solo se tienen datos piezométricos para 1980, donde se observa que las profundidades van de 2.18 a 7.0 m, las mayores profundidades se presentan en el extremo Sureste del área, reduciendo de forma gradual hacia el Oeste, la parte central presenta profundidades en promedio de 4 m en esta zona el área se ensancha mientras que aguas abajo del Rancho Santa Rosa se vuelve a reducir y el comportamiento del flujo subterráneo tiende a reducir en forma gradual (figura 6).

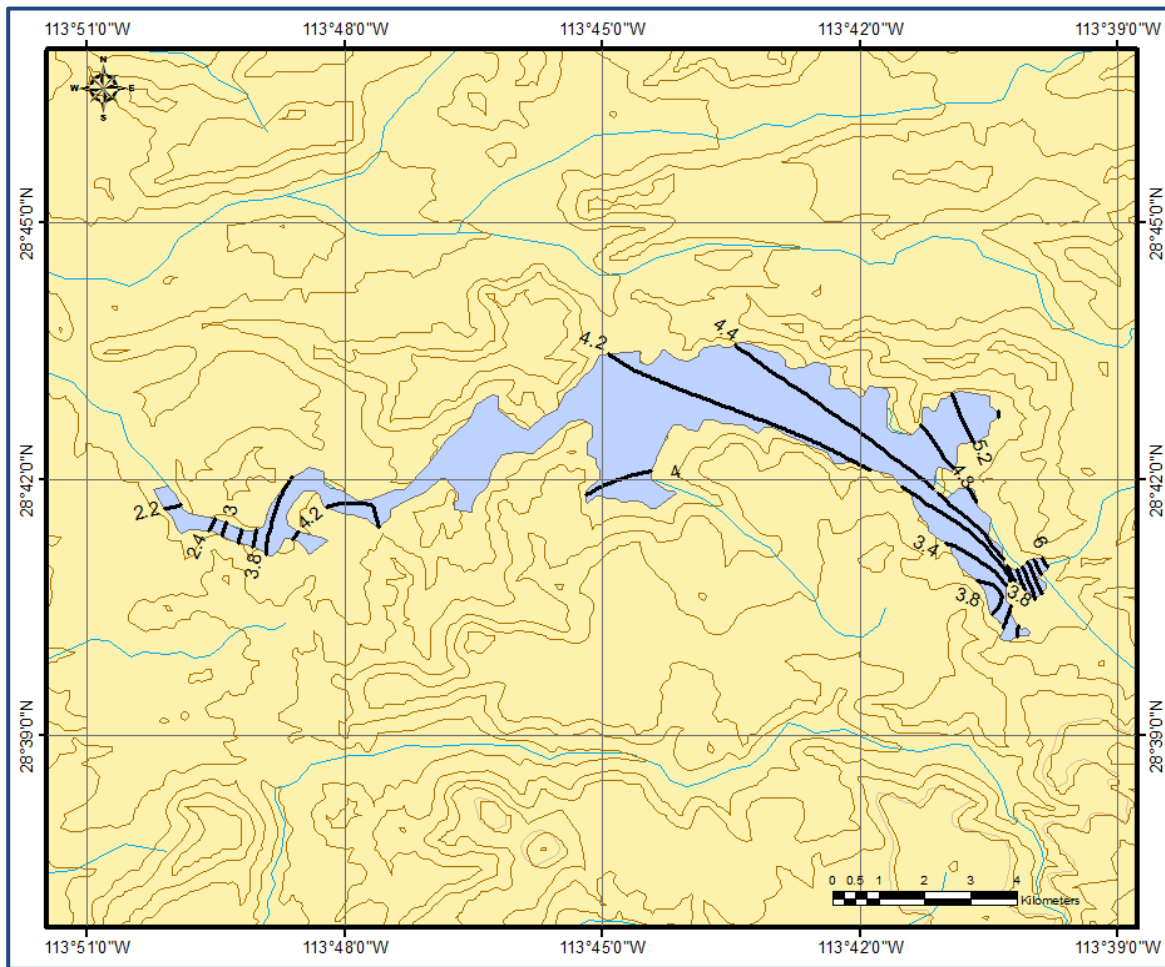


Figura 6. Profundidad al nivel estático en m (1980). Área de explotación AE2

Área de Explotación 3 (AE3). Al igual que para el AE2, solo se tienen datos piezométricos para el año 1980, las profundidades van de 0 a 26.38 m, a partir de San Ignacio hacia el Este y Oeste los valores se incrementan hasta alcanzar los 26.38 m, en la parte central cercana al poblado San Ignacio se observan profundidades someras de 2 a 5 m, esto ocurre también al Este a la altura del poblado San Borja donde se observa la presencia de manantiales y aguas termales (figura 7).

Área de Explotación 4 (AE4). Las profundidades para 1980 van de 0 a 20.0 m, en la zona cercana al poblado La Chivita y descienden de forma gradual a la costa, al noreste se observa que las profundidades llegan hasta 8 m en el poblado de San Germán disminuyendo de forma gradual hacia la costa.

Para el 2008 las profundidades van de 0 a 19.5 m, con el mismo comportamiento que en 1980, observándose así una recuperación (figura 8 y 9).

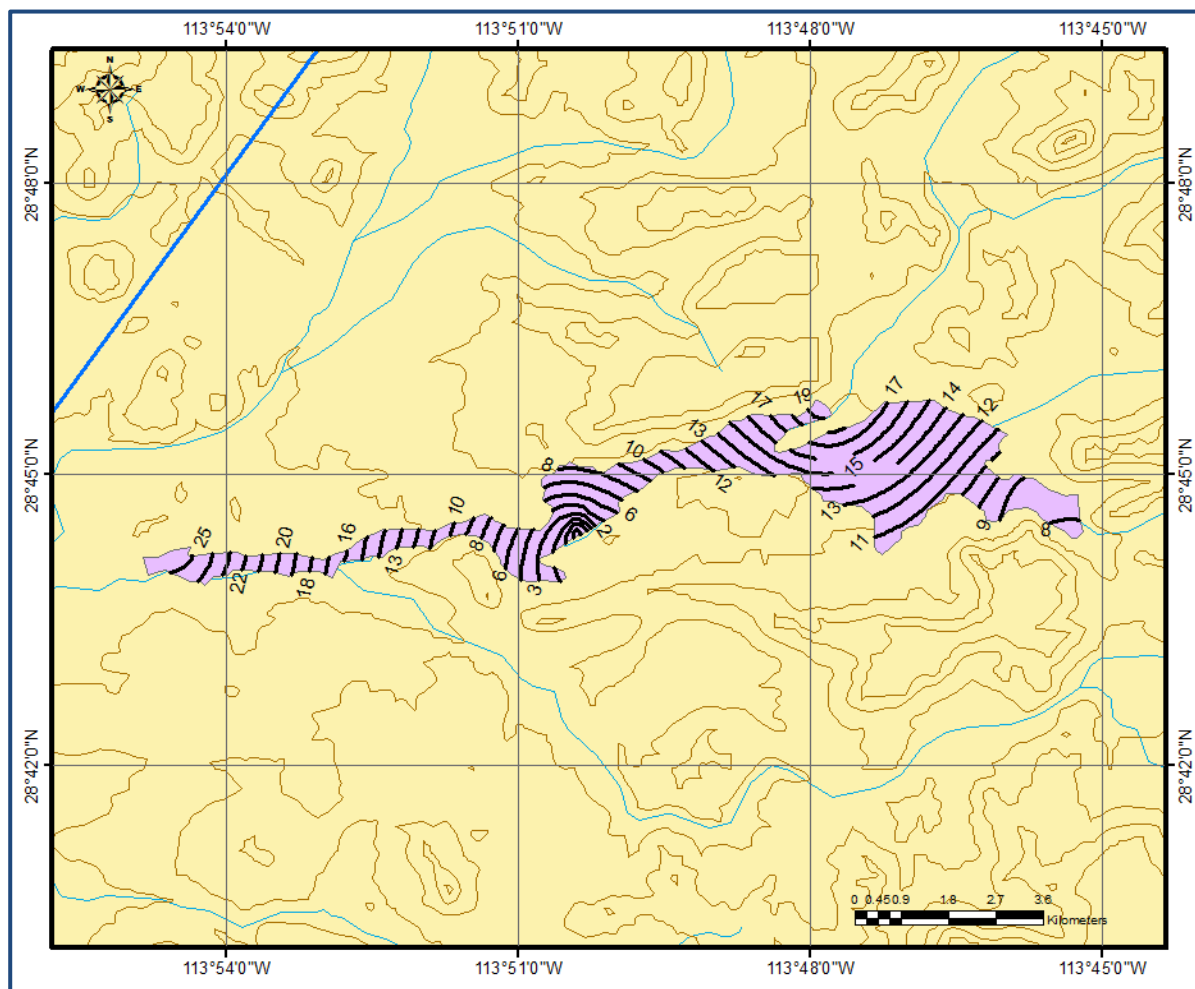


Figura 7. Profundidad al nivel estático en m (1980). Área de explotación AE3

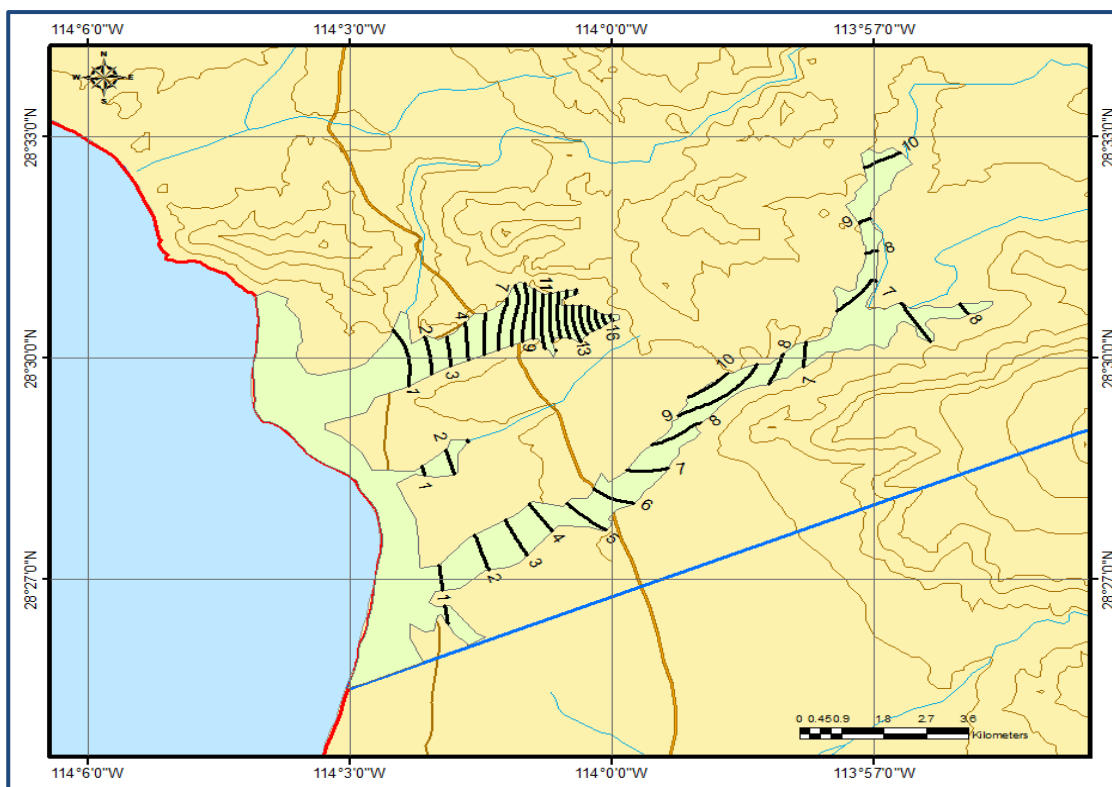


Figura 8. Profundidad al nivel estático en m (1980). Área de explotación AE4

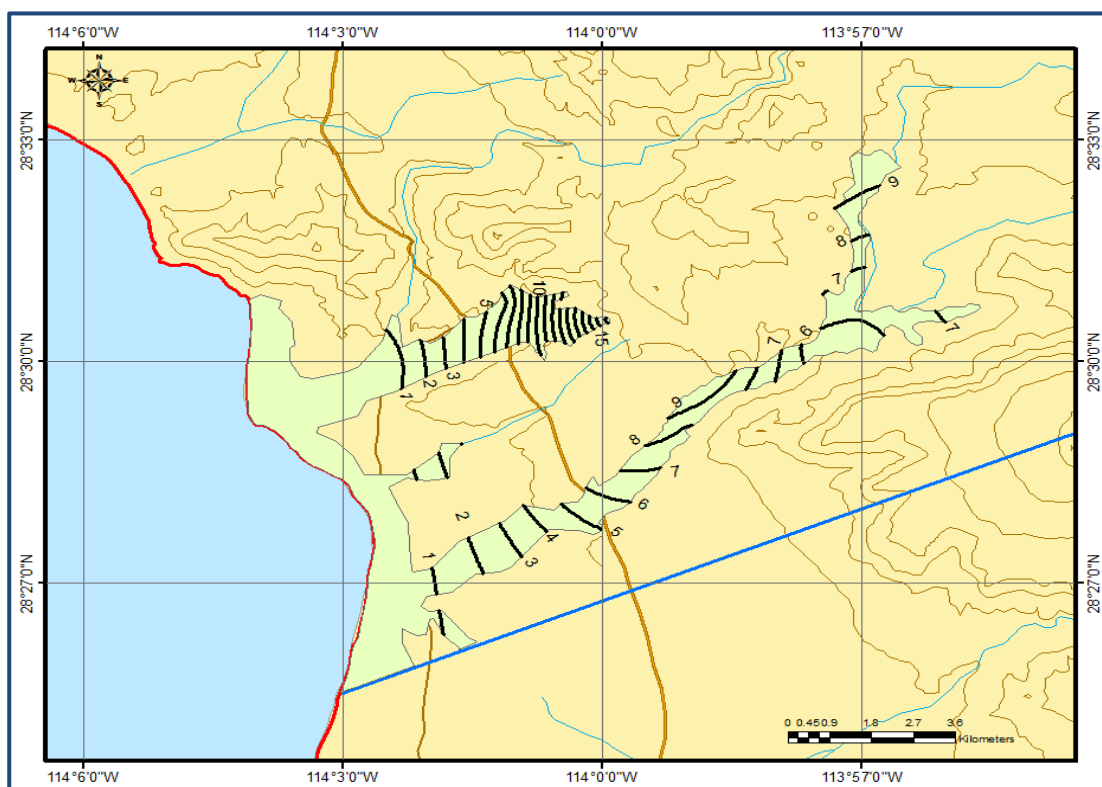


Figura 9. Profundidad al nivel estático en m (2008). Área de explotación AE4

5.4.2 Elevación del nivel estático

Área de Explotación 1 (AE1). Las elevaciones para 1980 en esta área van de 94.0 a 130.56 msnm, las mayores elevaciones se presentan en el extremo noreste del área van reduciendo en forma gradual hacia el suroeste, al noreste del poblado Rosarito se observa una entrada de agua subterránea, en este punto se observa la intersección del escurrimiento de tres arroyos uniéndose posteriormente al arroyo Compostela que esté a su vez aguas abajo se une al arroyo Rosarito hasta desembocar al Océano Pacífico, donde se observa una salida de agua subterránea, a la altura del poblado del Rosarito que es la zona con mayor número de aprovechamientos se observa una pequeña flexión posiblemente se deba a que en el sitio se presenta una mayor extracción de agua subterránea descendiendo posteriormente de forma gradual. Para 2008 las elevaciones de nivel estático van de 94 a 131 msnm, observándose así un pequeño abatimiento para el periodo de análisis (figura 10 y 11).

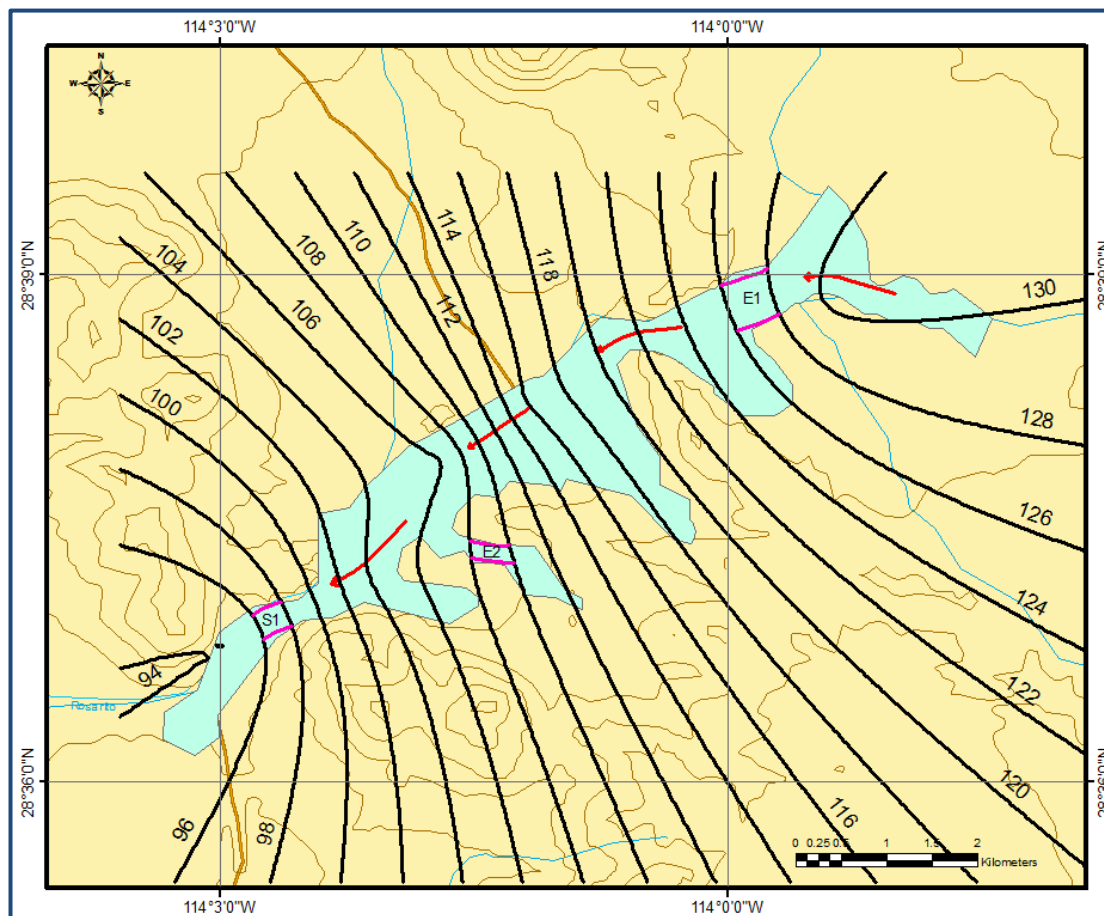


Figura 10. Elevación del nivel estático en msnm (1980). Área de explotación AE1

Área de Explotación 2 (AE2). Las elevaciones para el año de análisis 1980 van de 362 a 655 msnm, observándose al sureste a la altura del poblado San Gregorio las mayores elevaciones continuando la dirección del flujo de forma decreciente al suroeste. El flujo de agua tiende a distribuirse a lo largo del arroyo principal debido a las características del material granular y a que las fronteras laterales son impermeables (figura 12).

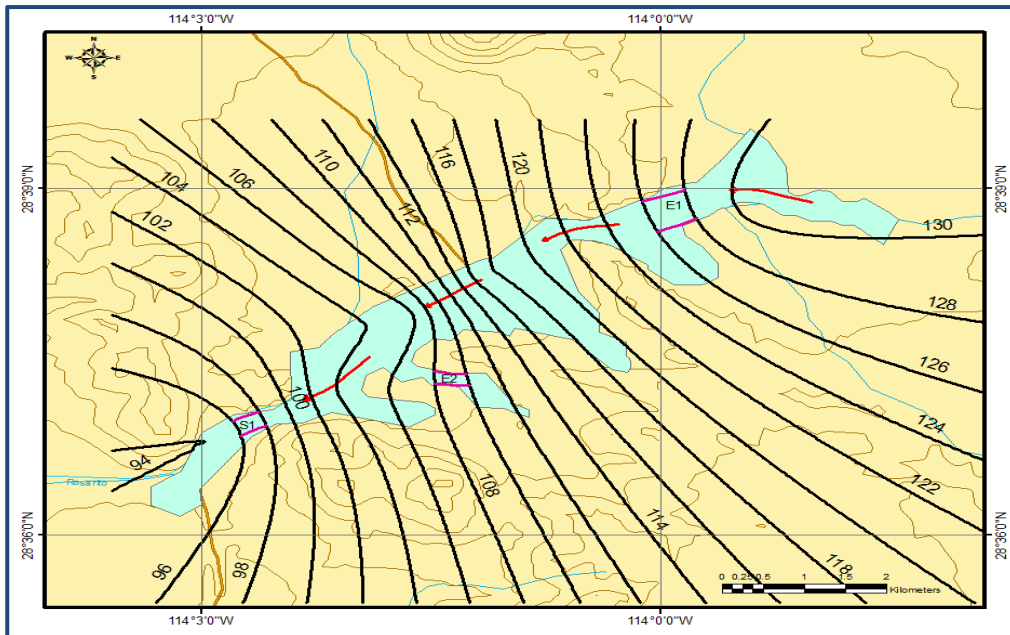


Figura 11. Elevación del nivel estático en msnm (2008). Área de explotación AE1

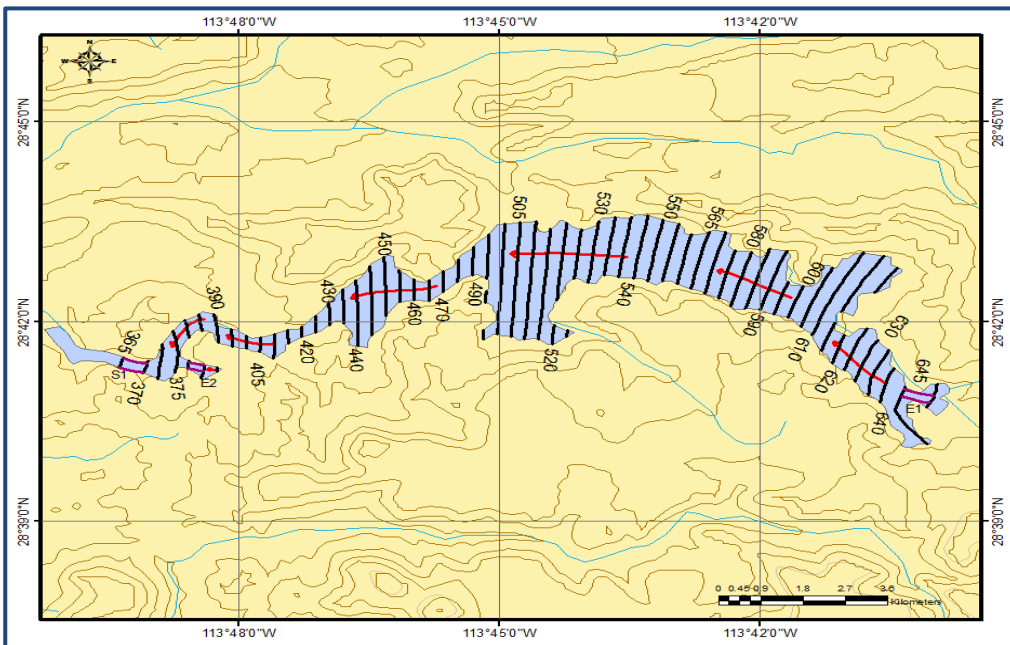


Figura 12. Elevación del nivel estático en msnm (1980). Área de explotación AE2

Área de Explotación 3 (AE3). Las elevaciones para 1980 van de 235.77 a 409.66 msnm, las mayores elevaciones se observan cercanas al poblado San Borja localizado al extremo este del acuífero y la bifurcación del Arroyo Grande y El Ranchito con una dirección de flujo hacia el Oeste la cual disminuye gradualmente (figura 13).

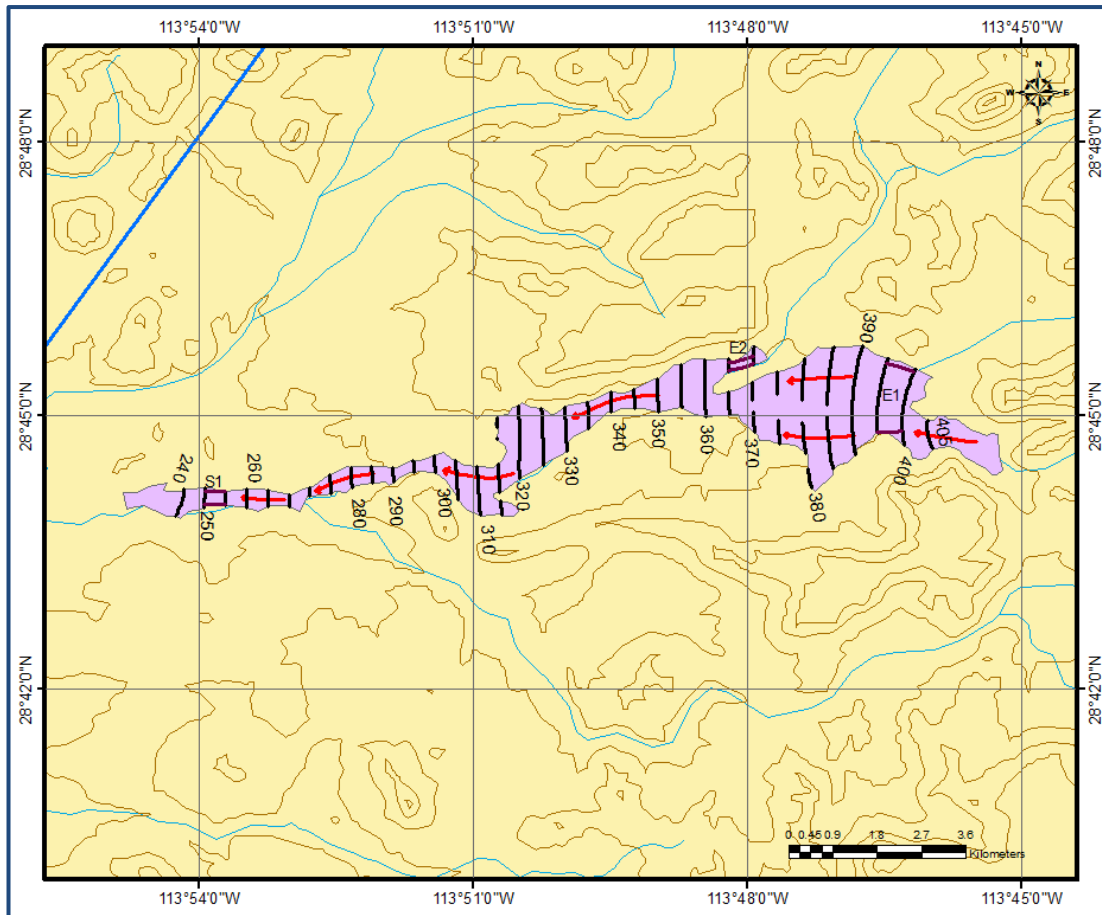


Figura 13. Elevación del nivel estático en msnm (1980). Área de explotación AE3

Área de Explotación 4 (AE4). Las elevaciones para 1980 y 2008 en esta área van de 14.0 a 145.0 msnm., las mayores elevaciones se presentan en el extremo Sureste del área a la altura del poblado San Germán disminuyendo hacia la zona de costa, en este sitio se observan dos entradas de agua subterránea, el flujo de agua descende hacia la costa donde descarga al Océano Pacífico (figura 14 y 15).

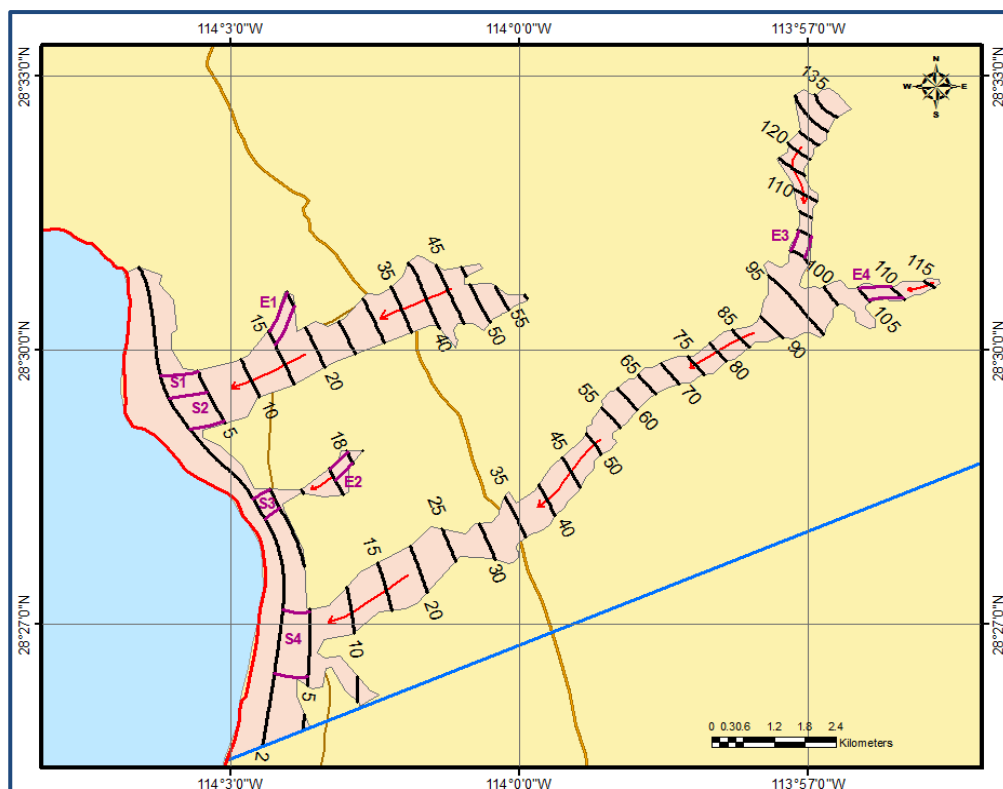


Figura 14. Elevación del nivel estático en msnm (1980). Área de explotación AE4

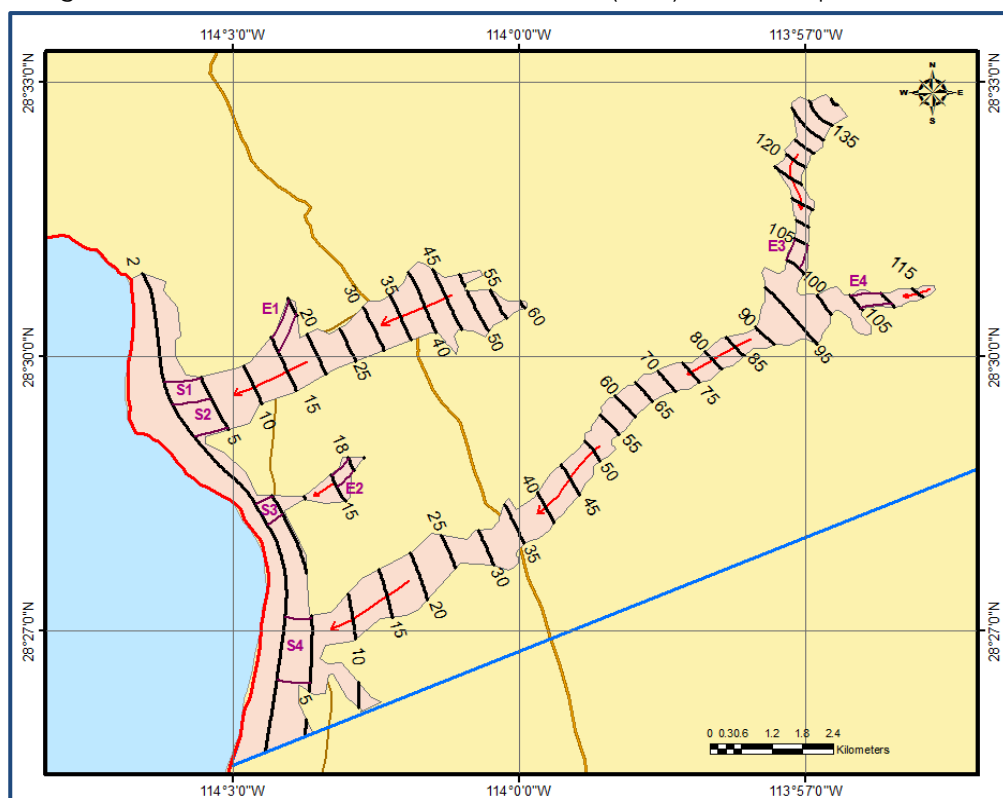


Figura 15. Elevación del nivel estático en msnm (2008). Área de explotación AE4

5.4.3 Evolución del nivel estático

Las variaciones del nivel estático para el AEI en el periodo 1980-2008 presentan evoluciones positivas a partir del poblado Rosarito hacia el Noreste, los valores van de 0.44 a 0.92 m, en la parte media y baja del área se presentan evoluciones negativas de 0.11 a 1.36 m.

El comportamiento de evolución se puede observar en la figura 16. Para las áreas de explotación 2 y 3, no se pudo hacer un plano de evolución debido a que no existe otro año para hacer la comparación en cuanto a las variaciones de elevación del nivel estático.

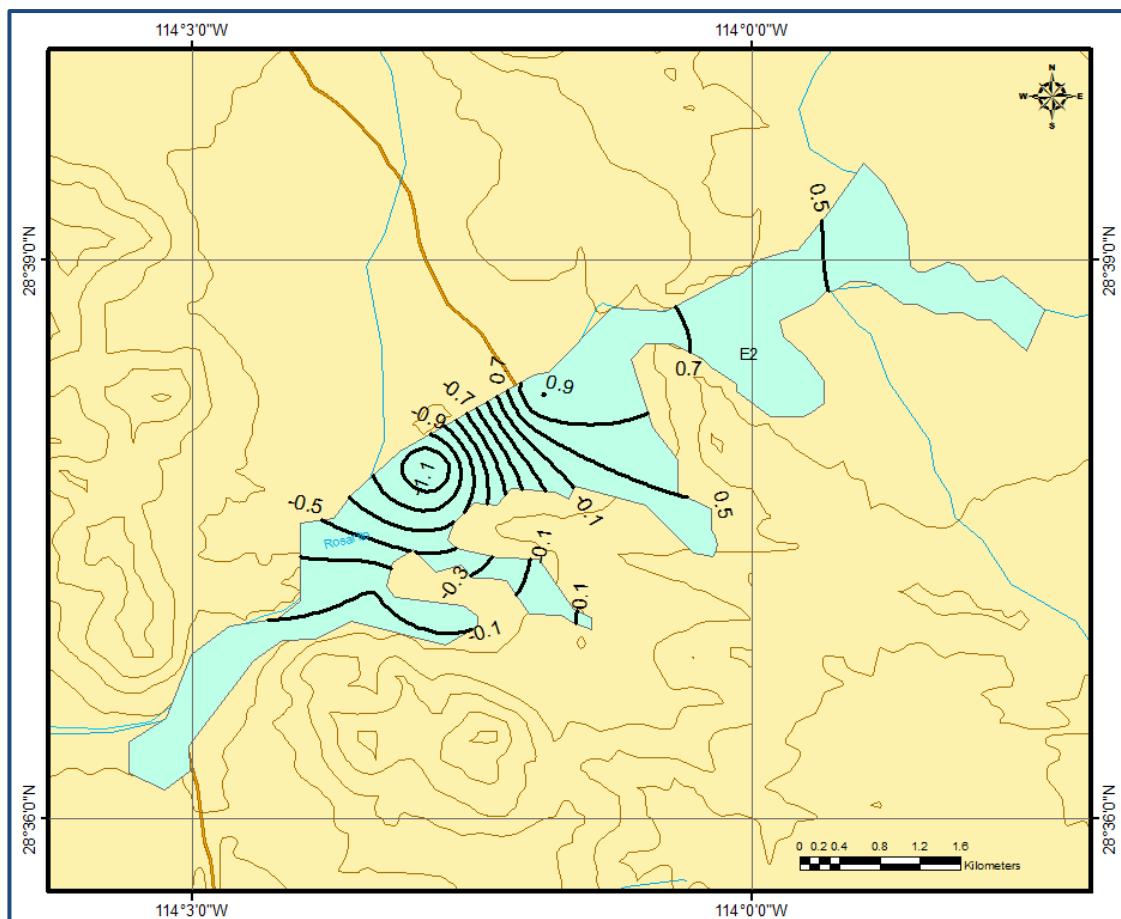


Figura 16. Evolución del nivel estático en m (1980-2008). Área de explotación AEI

El Área de explotación 4 presenta evoluciones positivas las cuales varían de 0.05 a 0.75 (figura 17).

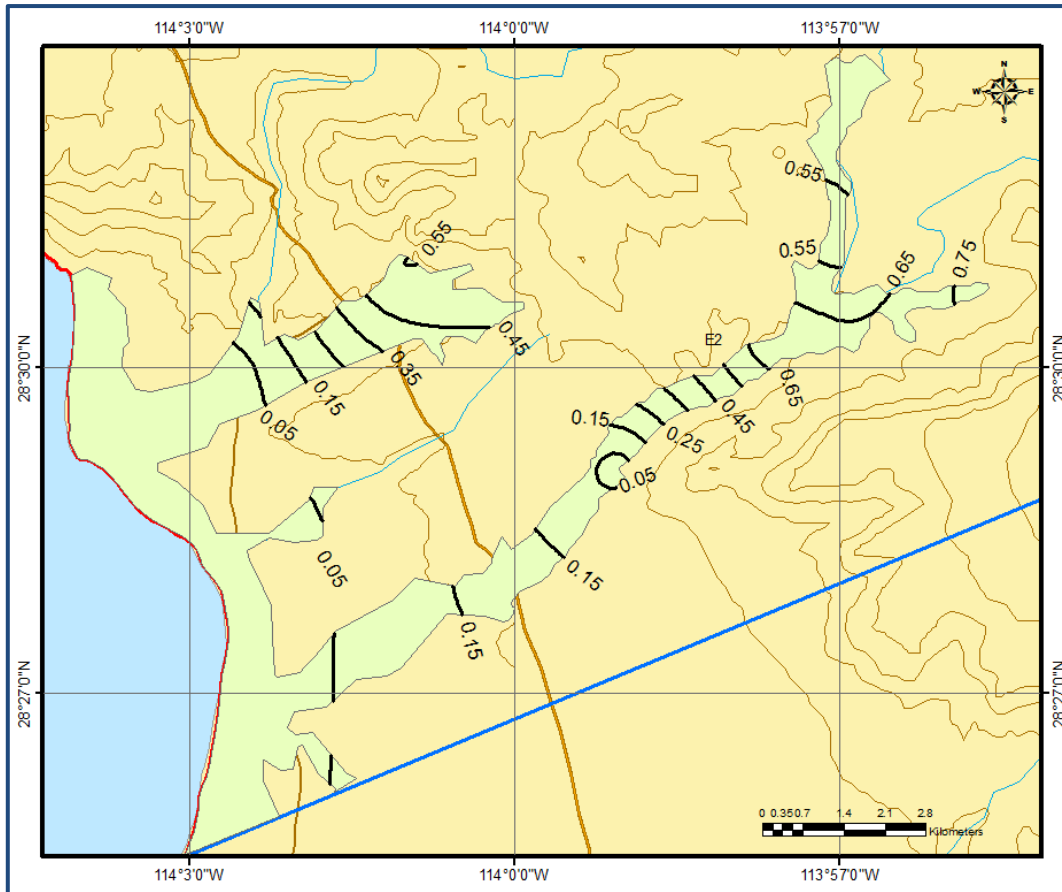


Figura 17. Evolución del nivel estático en m (1980-2008). Área de explotación AE4

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En 1980 la (SARH) realizó un estudio Geoquímico, en el que se reportan valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT), entre 284 a 8689 ppm, las mayores concentraciones se presentan en el área AE4 al extremo Suroeste en la zona cercana a la costa, siendo estos de 5871 y 8689 ppm.

En el caso del AE1 los SDT presentan valores de entre 944 y 2446 ppm, las concentraciones más altas se encuentran a la altura del poblado del Rosarito.

En el AE2 los SDT presentan valores de entre 440 y 1699 ppm, las concentraciones se van incrementando conforme el flujo se desplaza a través de los materiales impermeables. Para el AE3 la cantidad de SDT va desde 600 a 1733 ppm. De forma tal que en las diferentes áreas de explotación podemos encontrar aguas dulces y aguas moderadamente salobres.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

La información de censos previos reporta la presencia de aproximadamente 44 aprovechamientos, de estos 28 corresponden a norias, 5 a pozos y 6 a manantiales. El REPDA manifiesta la existencia de 30 aprovechamientos, tomando en cuenta los datos respecto al volumen concesionado dentro del acuífero se obtuvo que el 1.32% del volumen es para usos múltiples, 3.73% para uso doméstico, 5.82% uso pecuario, 7.91% uso público urbano y el 81.22% para uso agrícola, siendo este el de mayor consumo, dando como resultado una extracción total de 0.1 m^3 de agua.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea involucra el registro de las entradas, salidas y el cambio en el almacenamiento, modificaciones que suceden en un volumen específico del acuífero en un determinado tiempo. Las componentes que se requieren conocer en el área de balance para la definición de este en forma global incluyen; cambios en el almacenamiento, evapotranspiración, bombeo, caudal base, entradas y salidas por flujo subterráneo, descarga por manantiales, entre otras. La diferencia entre la suma total de las entradas, y la suma total de las salidas, representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo definido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa se expresa como:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

En función de la disponibilidad de información, se estimó conveniente realizar un balance anual para los años de 1980 y 2008 (29 años) para las áreas de explotación 1 y 4, que son los que presentan mayor cobertura y confiabilidad en sus datos para cuantificar las componentes del balance para toda el área del acuífero.

Cada componente del balance se cuantificó para un periodo de 29 años, a partir de los valores medios de los años seleccionados.

Para las áreas de explotación 2 y 3 se realizó el balance geohidrológico para el año 1980, cada componente del balance se cuantificó a partir de los valores medios. La incógnita seleccionada fue la recarga vertical.

El agua subterránea del sistema acuífero en las áreas de explotación tiene un movimiento general con sentido este-oeste, considerando la presencia de salidas de agua por flujo subterráneo en dirección al Océano Pacífico, aunque no se logra ver su desembocadura a éste, solo el AE4 tiene una salida directa al Océano.

Con apoyo del monitoreo piezométrico y del análisis del mismo, se evidencian entradas de agua al sistema a través de la porción Oriental del acuífero, además de la recarga de lluvia directa hacia los valles. Por lo que, la ecuación de balance de agua subterránea para las áreas de explotación delimitadas dentro del acuífero Nuevo Rosarito para el periodo 1980 - 2008, se expresa de la siguiente manera:

$$Eh + Rv - (B + Sh + ETR) = \Delta V(s)$$

Donde:

Eh = Entradas por flujo subterráneo horizontal

Rv = Recarga vertical

B = Bombeo

Sh = Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR = Evapotranspiración

$\Delta V(s)$ = Cambio de almacenamiento

En base a las redes de flujo para las áreas de explotación 1 y 2 para los años 1980 y 2008, así como al plano de evolución, el tipo de material sedimentario y espesores de éste; se cuantificaron las componentes para el balance del sistema acuífero, delimitando así el área de balance, la cual comprende una superficie aproximada en el AE1 de **8.5 km²**, en el AE2 de **22.63 km²**, en el AE3 **13.58 km²** y el AE4 de **25.86 km²**.

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle, y de las infiltraciones a lo largo del cauce.

Este componente se seleccionó como incógnita en la ecuación de balance de agua subterránea, debido a que no existe información referente a los valores de escurrimiento superficial.

Por lo tanto, su estimación se efectuó a partir de la ecuación de balance de la siguiente manera:

$$R_v = (\Delta V's) + (B + Sh + ETR) - E_h$$

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

La recarga inducida se constituye principalmente por retorno de riego, infiltración de obras hidroagrícolas así como la infiltración de las redes de agua potable.

Según datos del REPDA el 81.22% del agua extraída se emplea para riego, sin embargo, según lo que se apreció en el recorrido de campo no hay zonas agrícolas en las áreas de balance, por lo que no se considera.

Para el caso de infiltración de las redes de agua potable, se consideran despreciables por el volumen destinado para este uso.

7.1.3 Entrada por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La estimación de esta componente se realizó utilizando la configuración de la elevación del nivel estático de los años 1980 y 2008, en la cual se definieron las direcciones y celdas de flujo que junto con la transmisividad y gradiente hidráulico, definieron los caudales que circulan en el acuífero. Estos caudales anuales se promediaron y multiplicaron por el número de años del periodo a analizar.

La componente de flujo subterráneo se calculó para los años de balance 1980 y 2008 para las AE1 y AE4, y para 1980 en las AE2 y AE3 ver tabla 3 a la 6. Con base en la configuración se seleccionaron las celdas de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero.

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas.

$$Q = B * i * T$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

T = Transmisividad (m^2/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

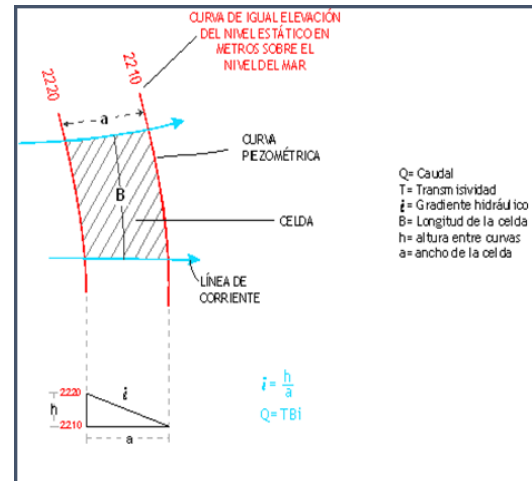


Tabla 3. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo AE1

Celda	T ($10^{-3} m^2/s$)	B ($10^3 m$)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
ENTRADAS LATERALES 1980					
E ₁	3.472	0.521	0.00428	0.0077	0.244
E ₂	2.315	0.192	0.00494	0.0022	0.069
ENTRADAS LATERALES 2008					
E ₁	3.472	0.493	0.00418	0.0072	0.226
E ₂	2.315	0.185	0.00552	0.0024	0.075

Por lo tanto el promedio de entradas horizontales en el AE1 es de **0.31 hm^3 anuales**.

Tabla 4. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo AE2 1980

Celda	T ($10^{-3} m^2/s$)	B ($10^3 m$)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
ENTRADAS LATERALES					
E ₁	1.852	0.206	0.00857	0.0033	0.103
E ₂	1.157	0.166	0.01678	0.0032	0.102

Las entradas horizontales para el AE2 son de **0.2 $hm^3/año$** .

Tabla 5. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo AE3 1980

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (10^{-3} m)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
ENTRADAS LATERALES					
E ₁	0.347	1.324	0.01028	0.0047	0.149
E ₂	0.347	0.162	0.01093	0.0006	0.019

Las entradas en la AE3 corresponden a **0.17 $\text{hm}^3/\text{año}$** .

Tabla 6. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo AE4

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (10^{-3} m)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
ENTRADAS LATERALES 1980					
E ₁	3.472	0.303	0.00579	0.0061	0.192
E ₂	2.315	0.256	0.00659	0.0039	0.123
E ₃	3.472	0.269	0.01142	0.0106	0.336
E ₄	3.472	0.293	0.00878	0.0089	0.282
ENTRADAS LATERALES 2008					
E ₁	3.472	0.304	0.00594	0.0063	0.198
E ₂	2.315	0.256	0.00668	0.0040	0.125
E ₃	3.472	0.267	0.01053	0.0098	0.308
E ₄	3.472	0.290	0.00935	0.0094	0.297

El promedio de entradas horizontales para el AE4 es de **0.93 $\text{hm}^3/\text{año}$** .

Para las AE1 y AE4 se consideró un periodo de análisis de 29 años, el cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) para el AE1 en el año 1980 es de **0.31 hm^3** mientras que para el 2008 se obtuvo un volumen de **0.30 hm^3** .

Para el AE4 volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) en el año 1980 es de **0.933 hm^3** y en el 2008 es de **0.927 hm^3** . Con estos valores anuales, se determinó que para el periodo de 1980-2008, el volumen de entrada es de **8.85 hm^3** en el AE1 y de **26.93 hm^3** en el AE2.

Para el año 1980 el volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) en el AE2 fue de **0.20 hm³** y en el AE3 de **0.17 hm³** respectivamente.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ET). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del arroyo.

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Esta componente está representada por la descarga de una unidad hidrogeológica a la atmósfera y tiene lugar por evaporación directa del agua freática somera o bien por la transpiración de la flora, que en esta zona no es significativa por el tipo de vegetación.

Para su cuantificación se utilizó la relación empírica de Gardner y Fireman (1958), la cual determina la tasa máxima de evaporación, a partir de las propiedades hidráulicas del medio y su granulometría. Su expresión matemática es:

$$E = K_s \left[\frac{-a\pi}{LN(\sin(\pi / N))} \right]^N$$

Donde:

K_s= Conductividad hidráulica a saturación (cm/día).

a y N = Parámetros que representan la forma del suelo. Donde a se expresa en (cm), mientras que N se considera adimensional. (adim).

L= Profundidad (cm).

El área del acuífero presenta una granulometría que varía de media a gruesa, predominando el material grueso hacia la zona de costa conformada depósitos eólicos y algunos cantos rodados arrastrados a lo largo del arroyo. En la parte sureste del Valle es más abundante la cantidad de material grueso, mientras que en la parte central hay mayor concentración de material medio. Los parámetros **a** y **N** seleccionados de acuerdo a las características descritas, son de **a = -18 cm** y **N = 3.8**, mientras que **K_s = 38 cm/día**.

Con estos parámetros se construye la gráfica para la relación tasa máxima de evaporación – profundidad de influencia figura 18.

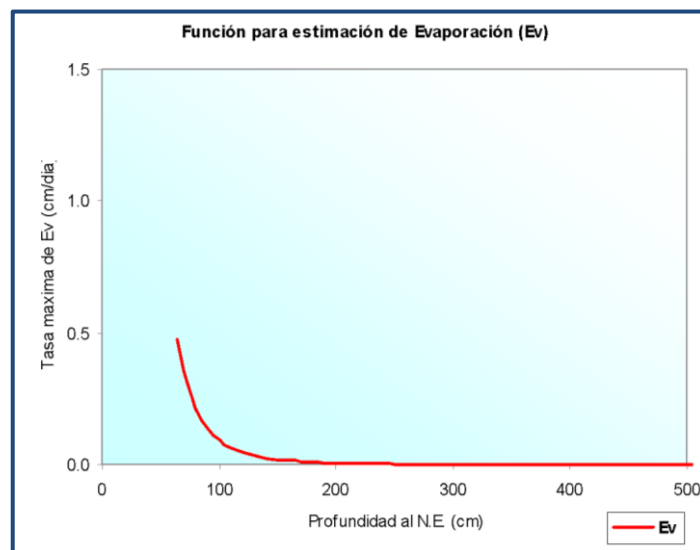


Figura 18. Relación de la tasa máxima de evaporación y profundidad de influencia

Tabla 7. Volumen de evapotranspiración de acuerdo al área AE1

PROF. MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (cm)	AREA (km ²)	TASA DE EVAP. (mm/día)	VOLUMEN DE EVAP (hm ³)
1980			
100	0.71	0.88	0.227
200	0.12	0.06	0.003
300	0.31	0.01	0.002
2008			
100	0.70	0.88	0.224
200	0.12	0.06	0.003
300	0.21	0.01	0.001

El promedio del valor de evapotranspiración para el AE1 es de **0.23 hm³/año**.

Tabla 8. Volumen de evapotranspiración de acuerdo al área AE2

PROF. MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (cm)	AREA (km ²)	TASA DE EVAP. (mm/día)	VOLUMEN DE EVAP (hm ³)
1980			
100	0.00	0.88	0.000
200	0.00	0.06	0.000
300	0.62	0.01	0.003

El valor de evapotranspiración en la zona AE2 es de **0.00 hm³/año**.

Tabla 9. Volumen de evapotranspiración de acuerdo al área AE3

PROF. MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (cm)	AREA (km ²)	TASA DE EVAP. (mm/día)	VOLUMEN DE EVAP (hm ³)
1980			
100	0.007	0.88	0.0023
200	0.004	0.06	0.0001
300	0.049	0.01	0.0002

El valor de evapotranspiración en la zona AE3 es de **0.00 hm³/año**.

Tabla 10. Volumen de evapotranspiración de acuerdo al área AE4

PROF. MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (cm)	AREA (km ²)	TASA DE EVAP. (mm/día)	VOLUMEN DE EVAP (hm ³)
1980			
100	7.78	0.88	2.486
200	1.58	0.06	0.036
300	1.21	0.01	0.006
2008			
100	7.88	0.88	2.518
200	1.62	0.06	0.037
300	1.23	0.01	0.006

El valor promedio de evapotranspiración para el área AE4 es de **2.55 hm³/año**.

El valor estimado de volumen para este componente, para el AE1 en el año 1980 fue de **0.232 hm³/año** y para el 2008 **0.228 hm³/año**. Con estos valores anuales, se determinó que para el periodo de 1980-2008, el volumen por evapotranspiración (ETR) es de **6.66 hm³**.

En el AE2 el volumen total de evapotranspiración en el año 1980 es de **0.003 hm³/año**, para el AE3 el volumen para el año 1980 es de **0.003 hm³/año**. Mientras que el valor estimado de volumen para este componente, para el AE4 en el año 1980 fue **de 2.529 hm³/año** y para el 2008 de **2.562 hm³/año**.

Con estos valores anuales, se determinó que para el periodo de 1980-2008, el volumen por evapotranspiración (ET) es de **73.81 hm³**.

El método de Evapotranspiración empleado para esta componente, se tomó considerando que los volúmenes de precipitación bajos que se presentan en el área de balance, descartando así tanto el método de Turc como el de Smith, ya que en ambos métodos para considerar confiable el volumen de evapotranspiración, deben presentarse precipitaciones mayores a 320 y 300 mm respectivamente.

7.2.2 Extracción por bombeo (B)

Se determinó una extracción por bombeo en el AE1 de **0.03 hm³/año**. En el caso del AE2 se consideraron tres aprovechamientos de uso doméstico y tres de uso pecuario dando una extracción de **0.03 hm³/año**, en el AE3 se consideraron seis aprovechamientos operando 2 horas diarias dando una extracción de **0.03 hm³/año**, mientras que para el AE4 se reportan **0.05 hm³/año**, por lo tanto la extracción total es de 0.14 hm³/año $\approx$ **0.1 hm³/año**.

7.2.3 Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Para calcular el volumen que se descarga natural del área de balance por flujo subterráneo, se consideraron los parámetros hidráulicos del mismo y las configuraciones; el acuífero Nuevo Rosarito es un acuífero costero, por lo que existe una zona a partir de la cual el espesor del acuífero va disminuyendo debido a la presencia de la zona de interfase agua marina-agua continental (tabla 11 a la 14).

Tabla 11. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo AE1

Celda	T (10 ⁻³ m ² /s)	B (10 ³ m)	i	Q (m ³ /s)	Vol. anual (hm ³)
Salidas laterales 1980					
S ₁	1.736	0.285	0.0063	0.0031	0.099
Salidas laterales 2008					
S ₁	1.736	0.247	0.0062	0.0027	0.084

El volumen promedio de las salidas por flujo subterráneo horizontal en el AE1 es de **0.09 hm³/año**.

Tabla 12. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo AE2

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (10^{-3} m)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
Salidas laterales 1980					
S ₁	2.778	0.266	0.0106	0.0078	0.247

Para el AE2 las salidas por flujo subterráneo es de **0.25 $\text{hm}^3/\text{año}$** .

Tabla 13. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo AE3

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (10^{-3} m)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
Salidas laterales 1980					
S ₁	1.736	0.262	0.0131	0.0060	0.188

Para el AE3 las salidas por flujo subterráneo es de **0.19 $\text{hm}^3/\text{año}$** .

Tabla 14. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo AE4

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (10^{-3} m)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
Salidas laterales 1980					
S ₁	3.472	0.459	0.0045	0.0072	0.228
S ₂	1.736	0.696	0.0047	0.0057	0.179
S ₃	3.472	0.433	0.0088	0.0132	0.417
S ₄	1.736	1.300	0.0057	0.0128	0.405
Salidas laterales 2008					
S ₁	3.472	0.459	0.0045	0.0072	0.228
S ₂	1.736	0.702	0.0047	0.0057	0.181
S ₃	3.472	0.433	0.0088	0.0132	0.416
S ₄	1.736	1.302	0.0057	0.0129	0.407

El volumen promedio de las salidas por flujo subterráneo horizontal en el AE1 es de **1.23 $\text{hm}^3/\text{año}$** .

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) en el AE1 para el año 1980 es de **0.099 hm^3** mientras que para el 2008 se obtuvo un volumen de **0.084 hm^3** . Con estos valores anuales, se determinó que para el periodo de 1980-2008 (29 años), el volumen de salida es de **2.67 hm^3** .

Para el AE2 el volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 1980 es de **0.247 hm³**. Para el AE3 se determinó un volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) en el año 1980 de **0.188 hm³**.

En el caso del AE4 el volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 1980 es de **1.230 hm³** mientras que para el 2008 se obtuvo un volumen de **1.232 hm³**. Con estos valores anuales, se determinó que para el periodo de 1980-2008 (29 años), el volumen de salida es de **35.70 hm³**.

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV_S)

El cambio de almacenamiento se estimó a partir de la evolución de las elevaciones de los niveles estáticos del periodo 1980–2008. Para esta determinación se utilizaron las configuraciones de las elevaciones de los niveles estáticos, realizadas para los años mencionados, para el AE1 se determinó un cambio en el volumen almacenado (**ΔV**) para el periodo 1980-2008 de **34.51 hm³/año** que representa un volumen medio de **1.19 hm³** anuales con un coeficiente almacenamiento (**Sy**) estimado en un valor de 0.08. Por lo tanto, el cambio de almacenamiento es de **0.09 hm³/año**.

Para el AE4 se determinó un cambio en el volumen almacenado (**ΔV**) para el periodo 1980–2008 de **127.89 hm³/año** que representa un volumen medio de **4.41 hm³** anuales con un coeficiente almacenamiento (**Sy**) estimado en un valor de 0.08. Por lo tanto el cambio de almacenamiento es de **0.35 hm³/año**.

En el caso de las AE2 y AE3 no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, es de esperar que no se registren alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento. Por lo tanto, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por lo tanto para fines del balance de aguas subterráneas para el AE2 y AE3, **$\Delta V(s) = 0$**

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical, mediante la expresión:

$$R_v = (\Delta V * S_y) + (B + Sh + ETR) - E_h$$

Para el AE1

$$R_v = 0.09 + (0.03 + 0.09 + 0.23) - 0.31$$

$$R_v = \mathbf{0.13 \text{ hm}^3/\text{anuales}}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h = 0.13 + 0.31 = \mathbf{0.44 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Para el AE2

$$R_v = 0.0 + (0.03 + 0.25 + 0.0) - 0.20$$

$$R_v = \mathbf{0.08 \text{ hm}^3/\text{anuales}}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h = 0.08 + 0.20 = \mathbf{0.28 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Para el AE3

$$R_v = 0.0 + (0.03 + 0.2 + 0.0) - 0.2$$

$$R_v = \mathbf{0.05 \text{ hm}^3/\text{anuales}}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h = 0.05 + 0.17 = \mathbf{0.22 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Para el AE4

$$R_v = 0.4 + (0.05 + 1.23 + 2.55) - 0.93$$

$$R_v = \mathbf{3.3 \text{ hm}^3/\text{anuales}}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h$$

$$R = \mathbf{5.2 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} & = & \text{RECARGA} & - & \text{DESCARGA} & - & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} & & \text{TOTAL} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{SUBSUELO EN UN} & & \text{MEDIA} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & \text{ANUAL} & & & & \end{array}$$

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso, su valor es de **5.2 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

En este sentido la descarga natural comprometida se considera como un porcentaje de las salidas por flujo subterráneo horizontal el cual se estimó en un 10% para las AE1, AE2 y AE3 y un 20% en el AE4, el porcentaje se considera porque la zona no presenta un entorno ecológico el cual requiera de este recurso para sostenerse o bien mantenerse en equilibrio, por lo que se propone controlar el bombeo dentro de la zona

cercana a la costa manteniendo los niveles de agua dulce por arriba del nivel del mar, para de cierta forma no incrementar la entrada de agua de mar hacia el área de explotación.

Por lo tanto se considera que el volumen por descarga natural comprometida para el AE1 es de **0.09 hm³/año**, para el **AE2** la descarga natural comprometida es de **0.025 hm³/año**, para el **AE3** de **0.019 hm³/año** y para el AE4 una descarga natural comprometida de **0.246 hm³/año**, generando un total de **DNC = 0.3 hm³/año**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **477,378 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 5.2 - 0.3 - 0.477378 \\ \text{DMA} &= 4.422622 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **4,422,622 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, 2008. Estudio Técnico para determinar la Disponibilidad de las Aguas Subterráneas en 20 acuíferos del estado de Baja California.